

TKS

23243

A white line-art icon on a blue background. It features a simple house outline with a gabled roof. To the left of the house, a seismic wave pattern is shown, consisting of a horizontal line followed by several vertical peaks and troughs of varying heights, representing an earthquake. The house is positioned as if it is being affected by the seismic activity.

Rekayasa **Gempa**

1.0 | Pengantar **Seismologi 2**

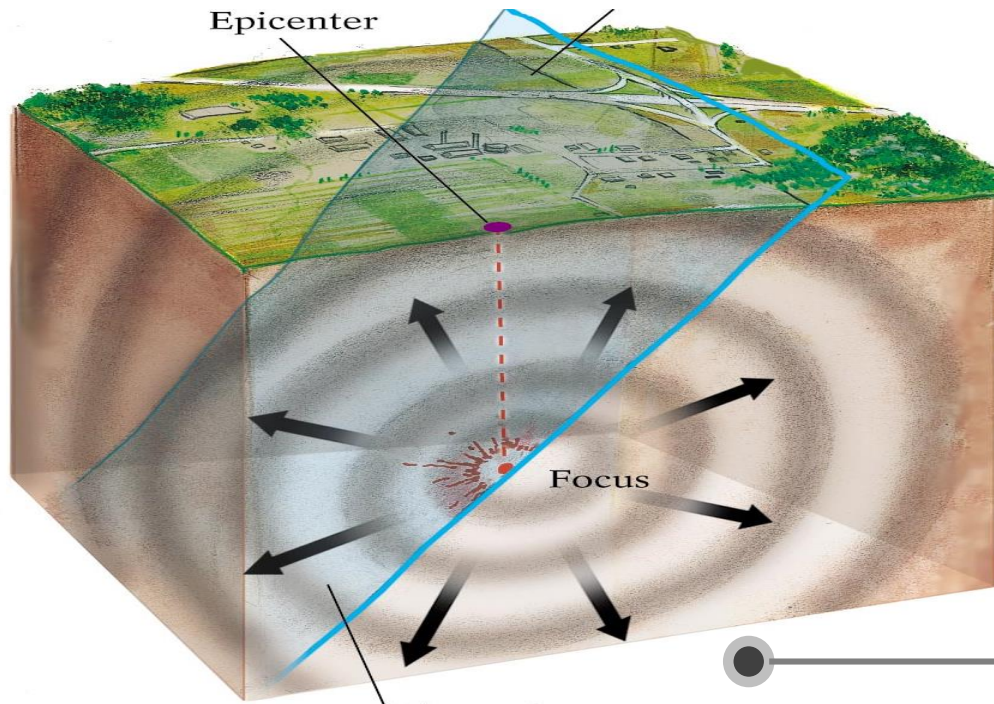
1.0 | Tujuan modul ke-2

Setelah kuliah ini **mahasiswa mampu:**

1. Mendeskripsikan **urutan kejadian dari sumber tektonik hingga hingga bencana gempa bumi**
2. Mendeskripsikan **elastic rebound theory** dan **jejaknya dipermukaan bumi.**
3. Mendeskripsikan **gelombang gempa, jenis** dan **karakteristik rambatannya.**

2.1

Urutan kejadian **Gempa**: Dari patahan tektonik hingga bencana gempa



Sudden **release** of
accumulated strain
energy

1. Tectonic loading of faults
(gerak dan tegangan tektonik pada daerah patahan / sesar)

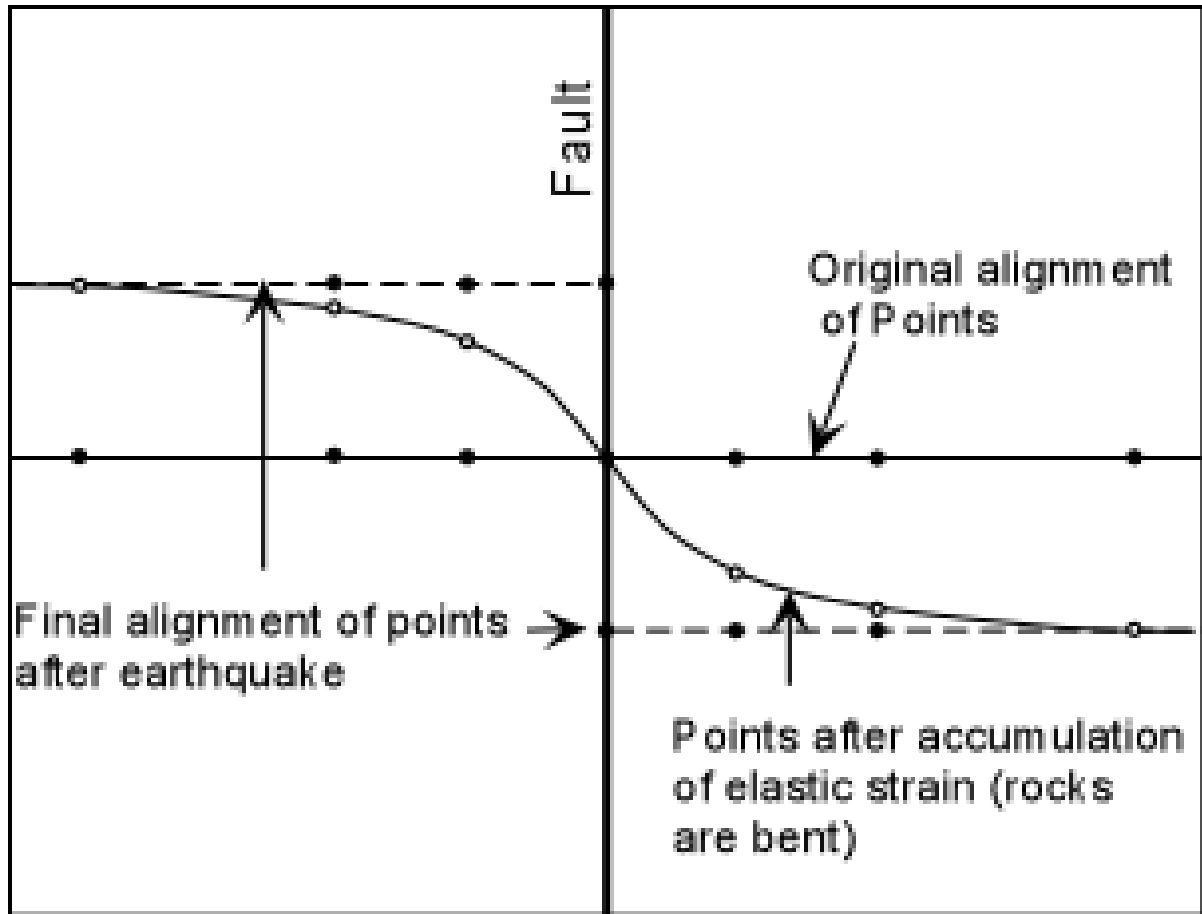
2. Gempa bumi
(earthquake)

3. Seismic waves + propagation
(gelombang gempa dan rambatannya)

4. Shaking (ground motion)
Guncangan (gerakan kuat tanah)

5. Structural failure
(keruntuhan struktur)

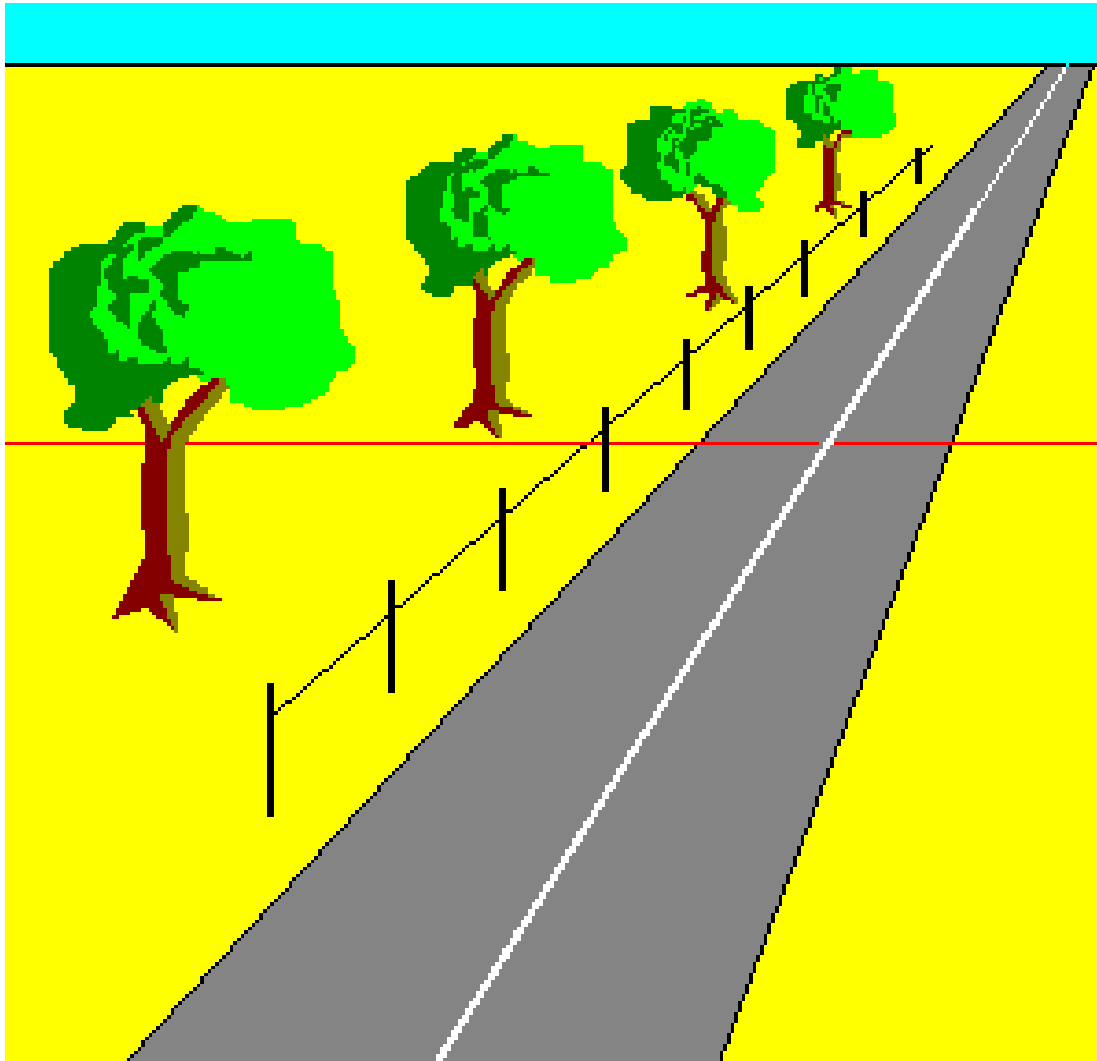
2.2 | Tectonic loading: Elastic rebound theory



Teori ini disusun dengan melakukan **pengukuran pada sejumlah titik** di suatu **patahan**.

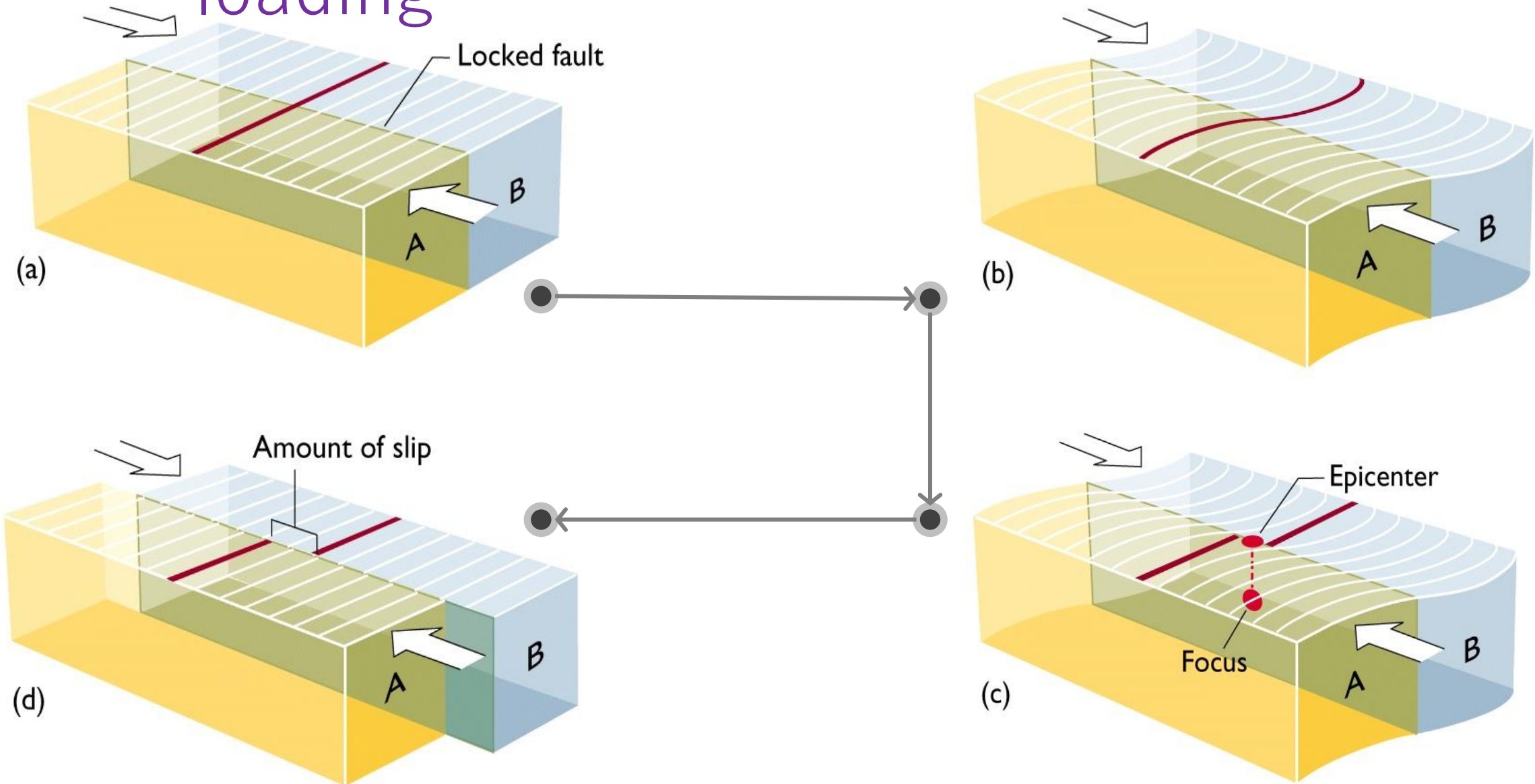
Sebelum gempa bumi, **diamati** bahwa **batuan** yang **berdekatan dengan sesar bergerak dan berdeformasi**. Deformasi ini menghilang setelah gempa bumi yang menunjukkan bahwa **energi yang tersimpan saat batuan berdeformasi (meregang/strain) tiba-tiba dilepaskan** selama gempa.

2.2 | Elastic rebound theory: Urutan kejadian tectonic loading

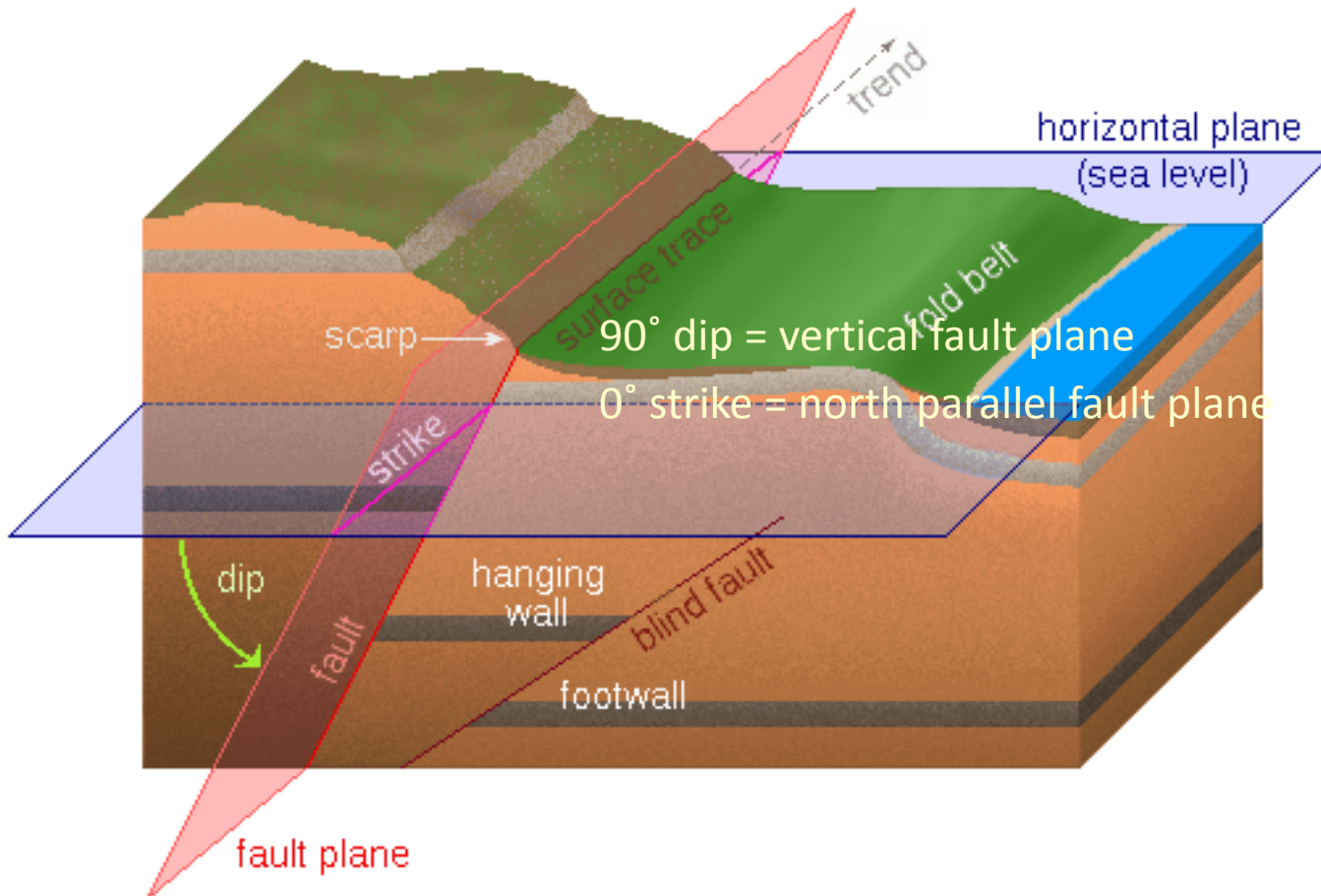


- a) **Tegangan** (gaya÷area) bekerja pada suatu **patahan/sesar**.
- b) **Strain (deformasi) terakumulasi** di sekitar **bidang patahan/sesar**.
- c) **Akumulasi regangan** mencapai **ambang batas** dan **bidang patahan/sesar** tergelincir tiba-tiba
- d) **Patahan/sesar (bidang gelincir)** berlanjut di beberapa bagian dari sesar. **Slip** adalah jarak perpindahan sepanjang sesar.

2.2 | Elastic rebound theory: Urutan kejadian tectonic loading



2.3 | Struktur **Fault** (Patahan/Sesar)



***fault** terdiri dari lapisan kerak bumi dan mantle terluar yang padat.

FRACTURE

Fraktur (retakan) di bumi terjadi dimana kedua sisi lempeng tektonik bergerak melewati satu sama lain dengan gerakan relatif sejajar dengan bidang fraktur.

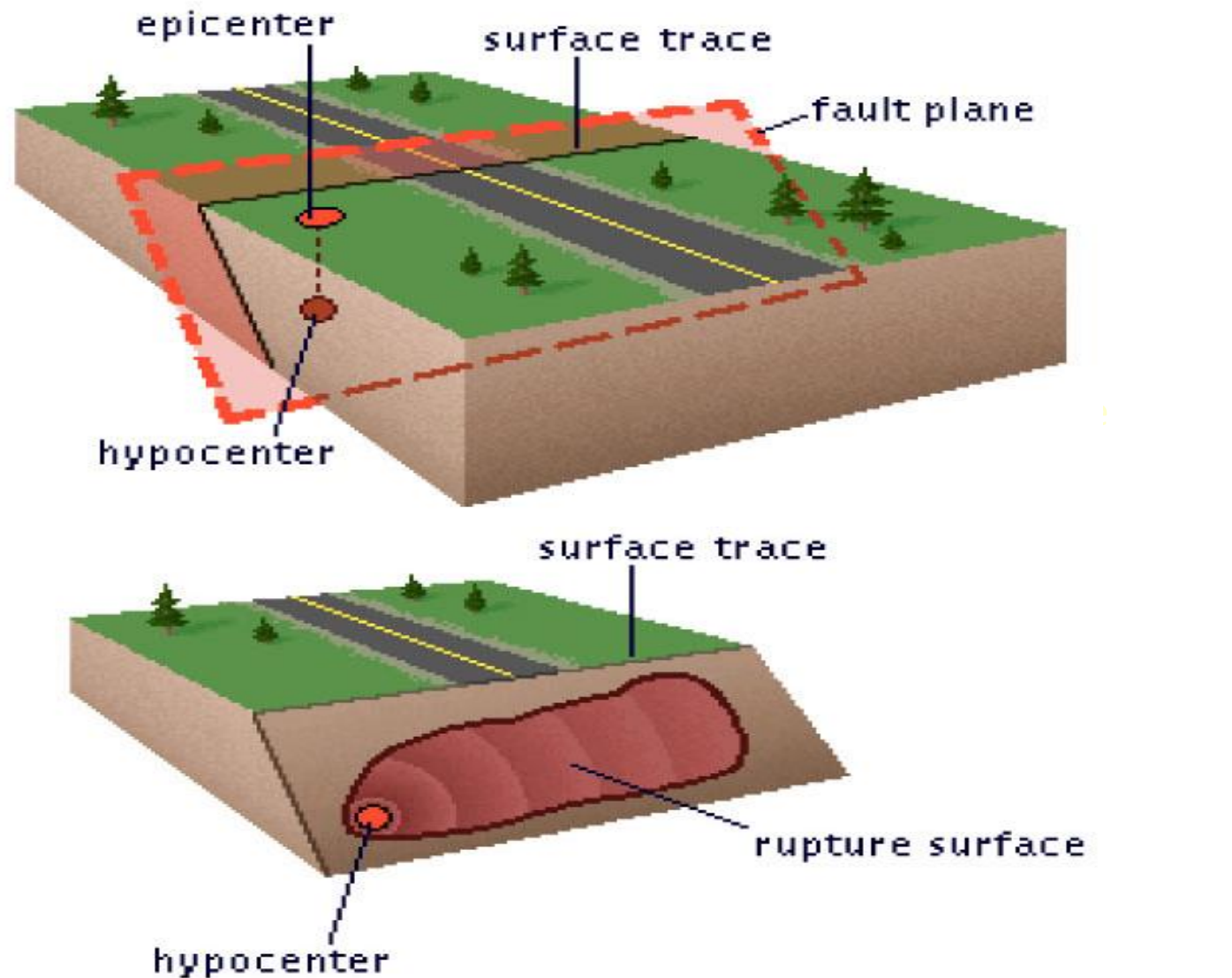
FAULT PLANE

Bidang sesar di bumi:

90° dip = Bidang sesar vertikal

0° strike = north parallel fault plane

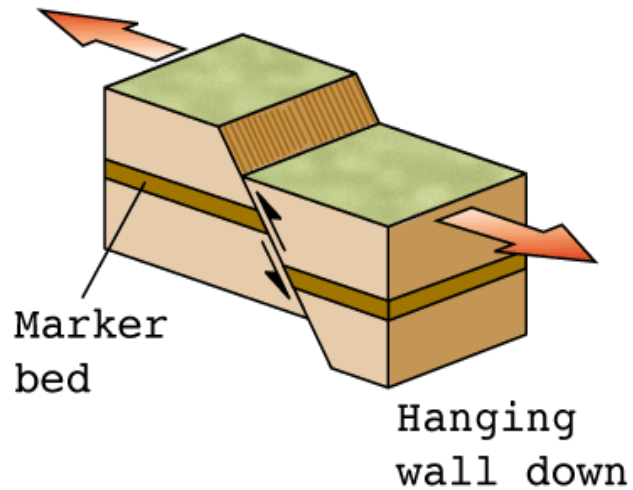
Struktur **Fault**: 2.3 | Jejak sesar di permukaan bumi



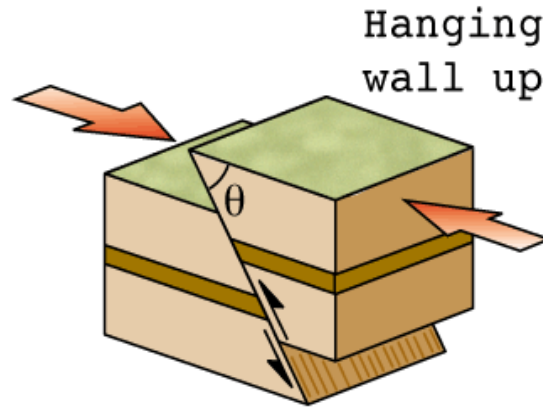
2.4

Struktur **Fault**: Tipe-tipe sesar di permukaan bumi

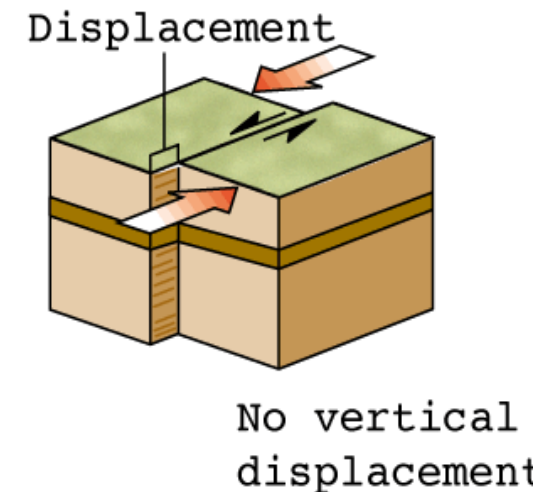
Normal fault
(due to extension)



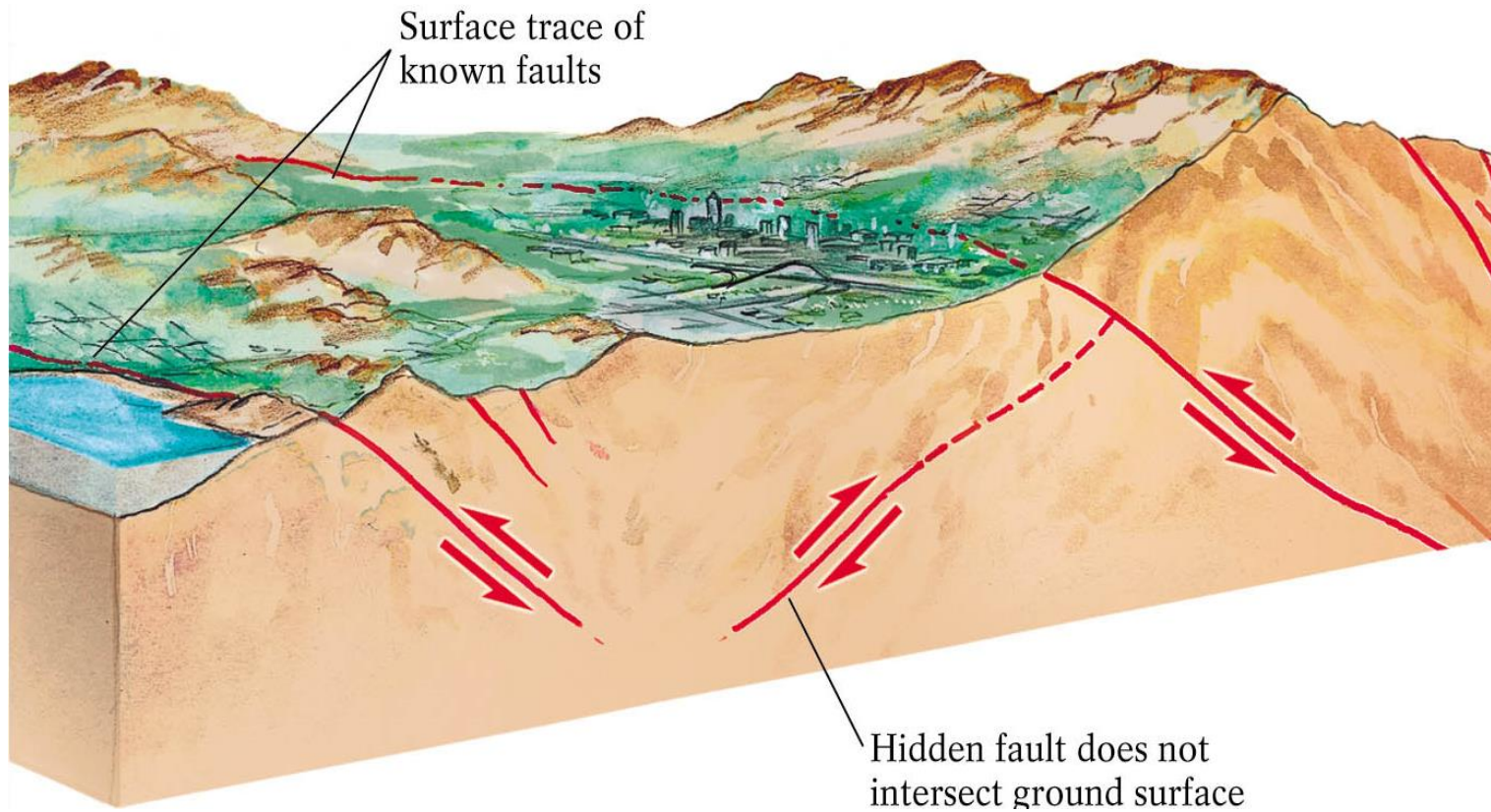
Reverse fault
(due to compression)



Strike-slip fault
(due to regional **shear**)



2.4 | Struktur **Fault:** blind / hidden faults



Hidden Faults

Sesar tersembunyi terletak cukup dalam dipermukaan dan atau belum dideteksi secara seksama. Sesar jenis ini dapat bersifat aktif dan menjadi sumber potensial bencana gempa dimasa depan.

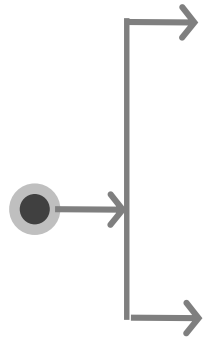
2.5 | Seismic **Waves:** blind / hidden faults

Seismic **waves:**

Energi regangan yang **dilepaskan** saat gempa bumi diubah menjadi **energi kinetik** dan **merambat (radiasi/propagasi)** dalam bentuk **gelombang seismik**.

Dua tipe gelombang gempa:

- 1 Body waves;** dimana energi gelombang merambat (propagasi) melalui bagian interior bumi.
- 2 Surface waves;** dimana energi gelombang merambat (propagasi) pada permukaan bumi.



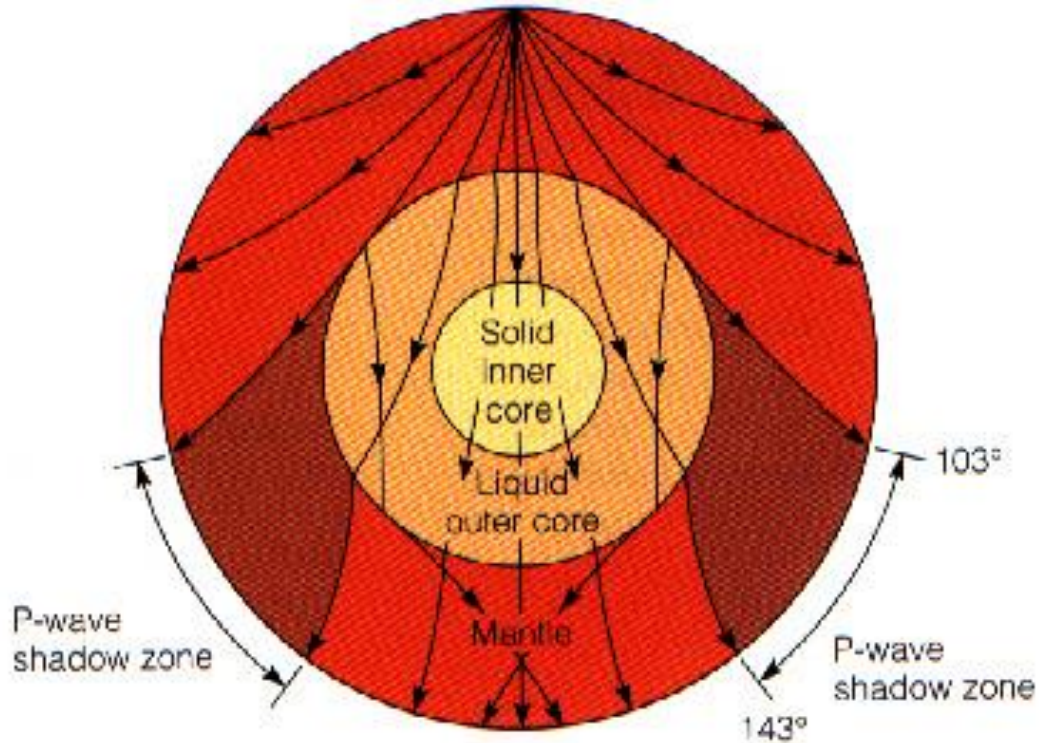
1.1

Primary (P) waves dimana batuan bergerak searah rambatan gelombang (longitudinal/compresional).
Ex. Compression dan expansion

1.2

Secondary (S) waves dimana batuan bergerak tegak lurus arah rambatan gelombang (transversal).
Ex. geser – rambatan gelombang pada tali

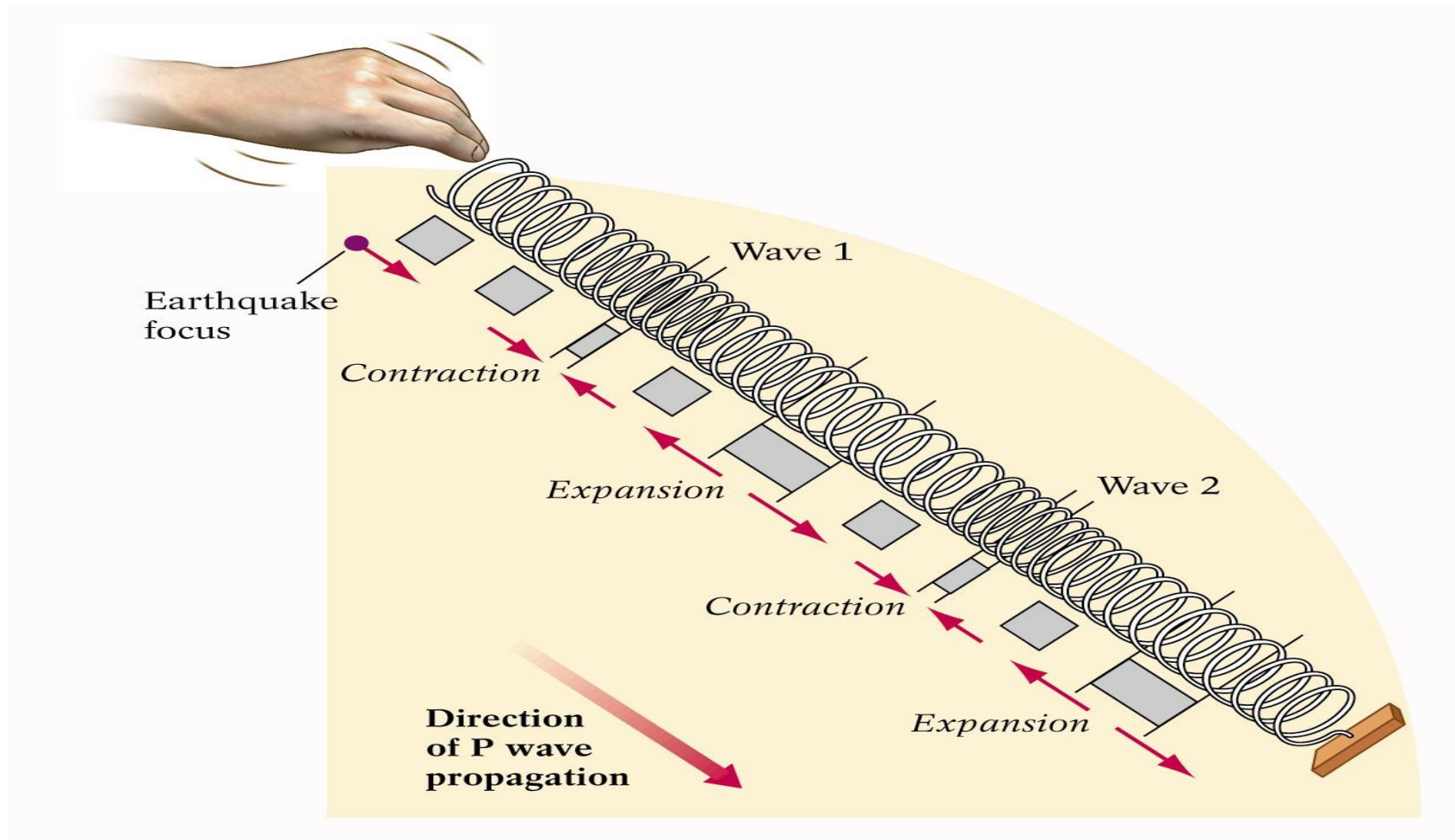
2.6 | **Primary** waves: gelombang badan merambat longitudinal dalam bumi



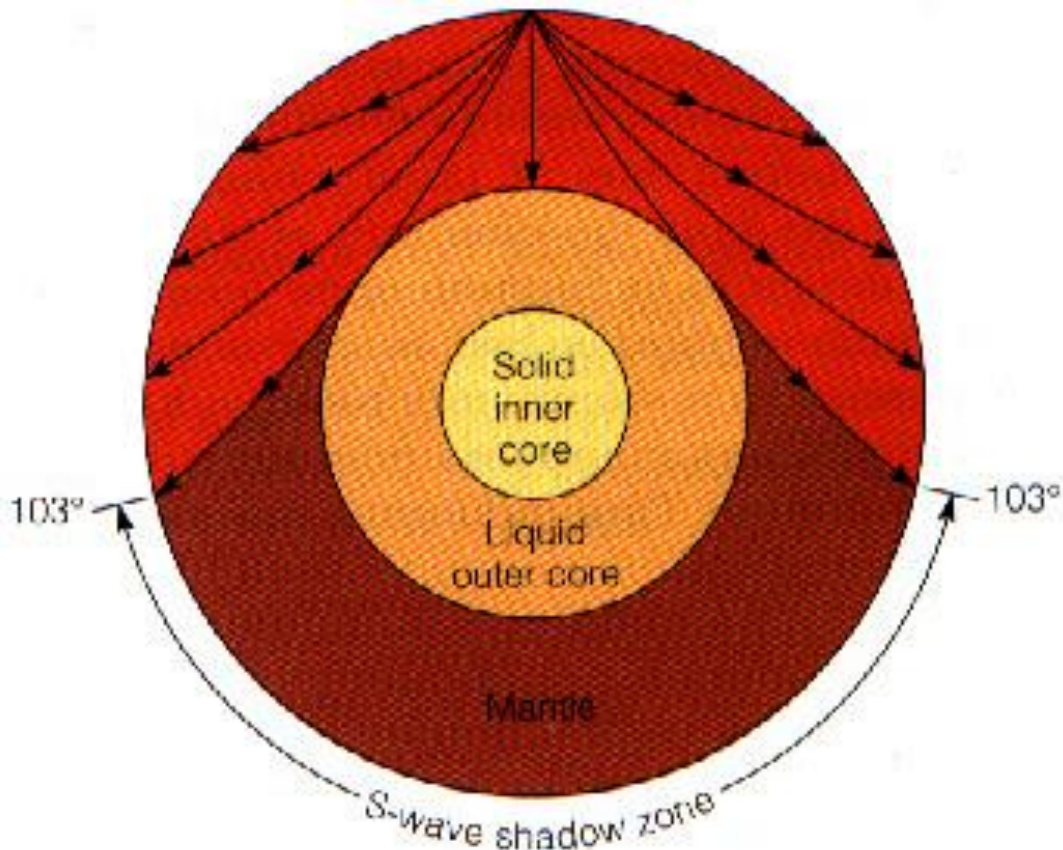
Walaupun gelombang Primer (P) mampu melalu semua medium, kita melihat beberapa perubahan di jalur rambatannya pada titik-titik tertentu di Bumi. Hal ini disebabkan oleh ketidaksinambungan pada batas yang berbeda dalam struktur bumi

- 1 **P-waves;** merambat melalui padatan, cairan, dan gas dan bentuk longitudinal (compressional)
- 2 **Perilaku;** menyebabkan dilatasi dan kontraksi (kompresi) material bumi saat melewatinya. Batuan (material bumi) bergerak searah rambatan gelombang.
- 3 **Kecepatan rambat** tipikal pada kerak bumi;
6 km/s (~13500 mph = ~ 21726,144 km/jam)
- 4 **P-waves** datang / direkam pertama pada seismogram

2.6 | **Primary** waves: gelombang badan merambat longitudinal dalam bumi



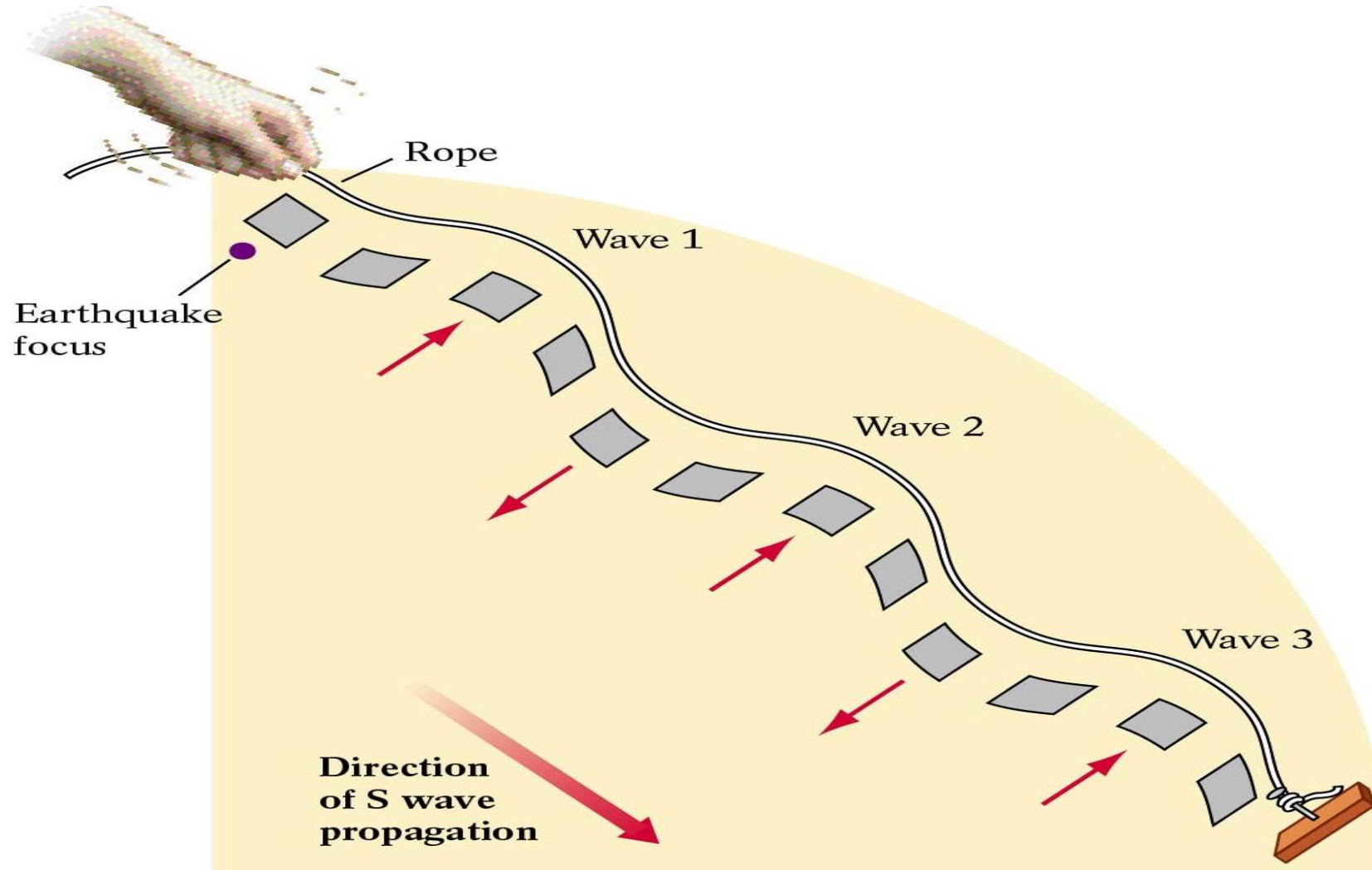
2.6 | **Secondary** waves: gelombang badan merambat transversal dalam bumi



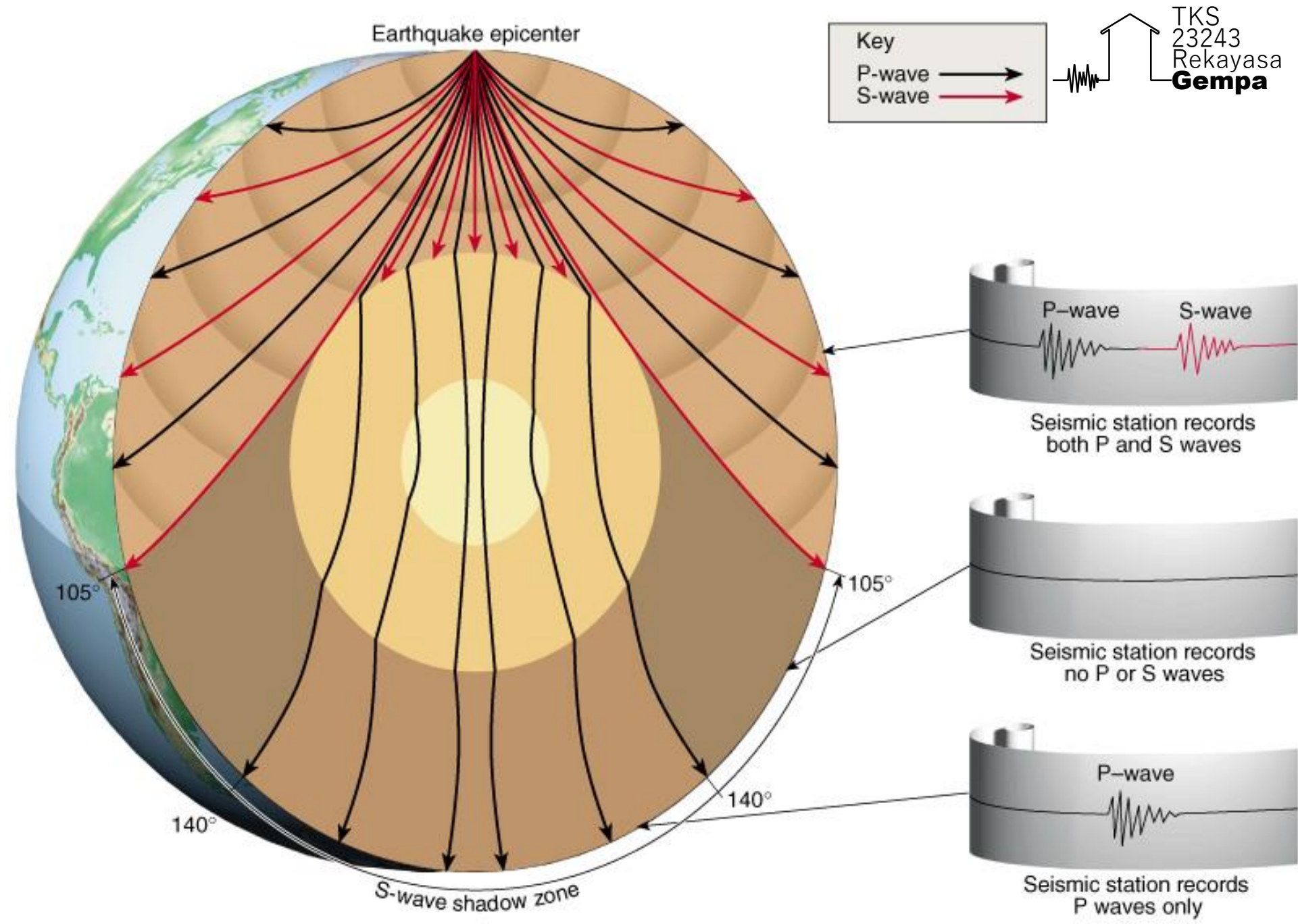
Kecepatan gelombang-S turun ke nol pada batas inti-mantel atau **Gutenberg Discontinuity**

- 1 **P-waves;** merambat hanya melalui padatan, dan bentuk transversal (shear)
- 2 **Perilaku;** menyebabkan geseran dan regangan (stretching) pada material bumi yang dilewatinya. Secara umum menyebabkan **goncangan dan kerusakan yang lebih parah** (amat merusak struktur)
- 3 **Kecepatan rambat** tipikal pada kerak bumi; 3 km/s (~6750 mph = ~ 10863,07 km/jam)
- 4 **S-waves** datang / direkam pada seismogram setelah P-waves.

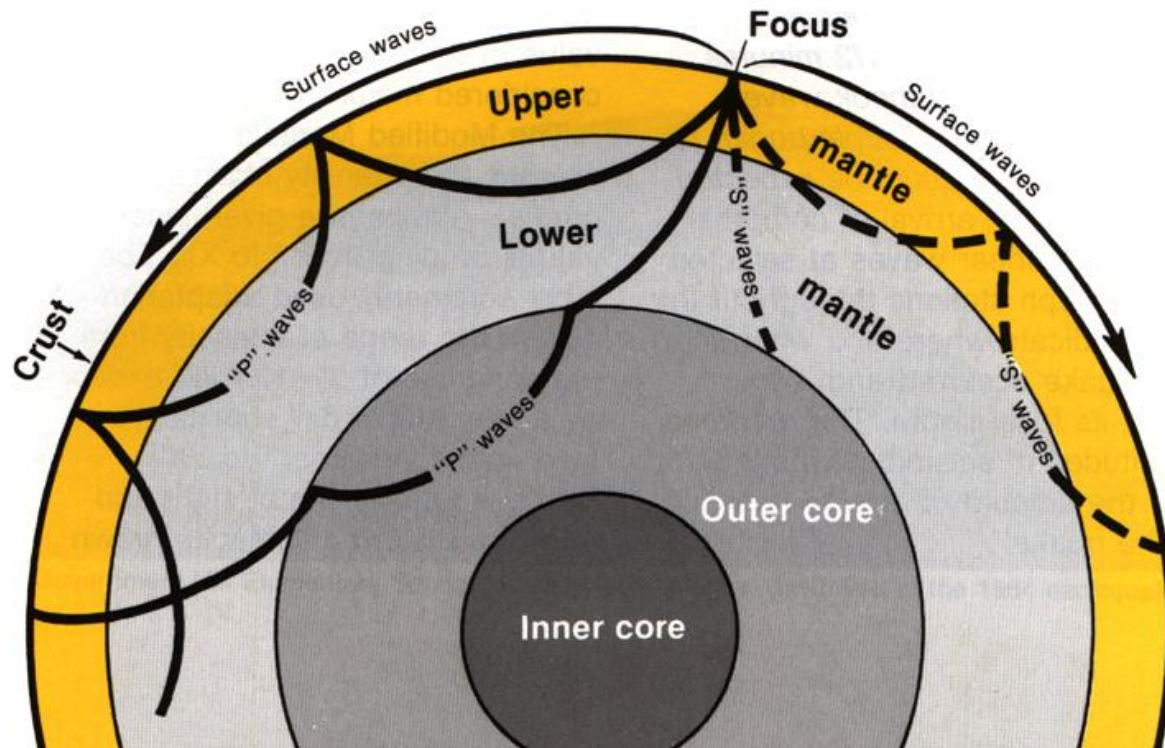
2.6 | **Secondary** waves: gelombang badan merambat transversal dalam bumi



2.6 | **Body waves:**
P- & S-
waves
pada
interior
bumi



2.7 | **Surface** waves: Variasi cepat rambat



- 1 **Rambatan;** merambat sedikit dibawa atau pada permukaan bumi
- 2 **Karakter rambatan;** lebih lambat daripada Body waves dengan bentuk gelombang rolling atau gerakan sisi-ke-sisi
- 3 **Sangat merusak** struktur

2.7

Surface waves:

Dua tipe utama gelombang permukaan

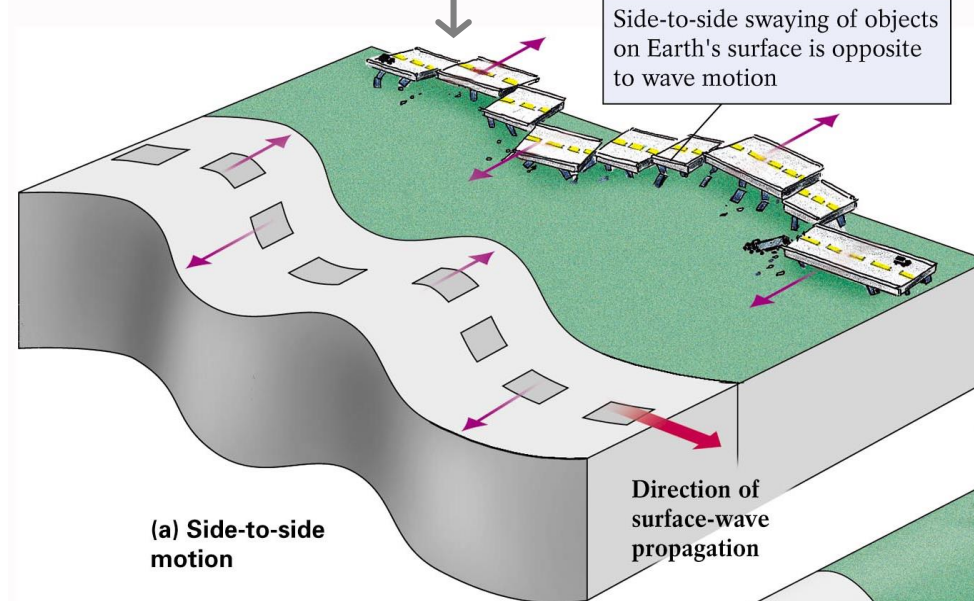
Tiba paling setelah S-waves dan sebelum Rayleigh waves pada seismogram

Side-to-side swaying of objects on Earth's surface is opposite to wave motion

Kecepatan: ~0.9 S-Waves.
Tiba paling akhir pada seismogram

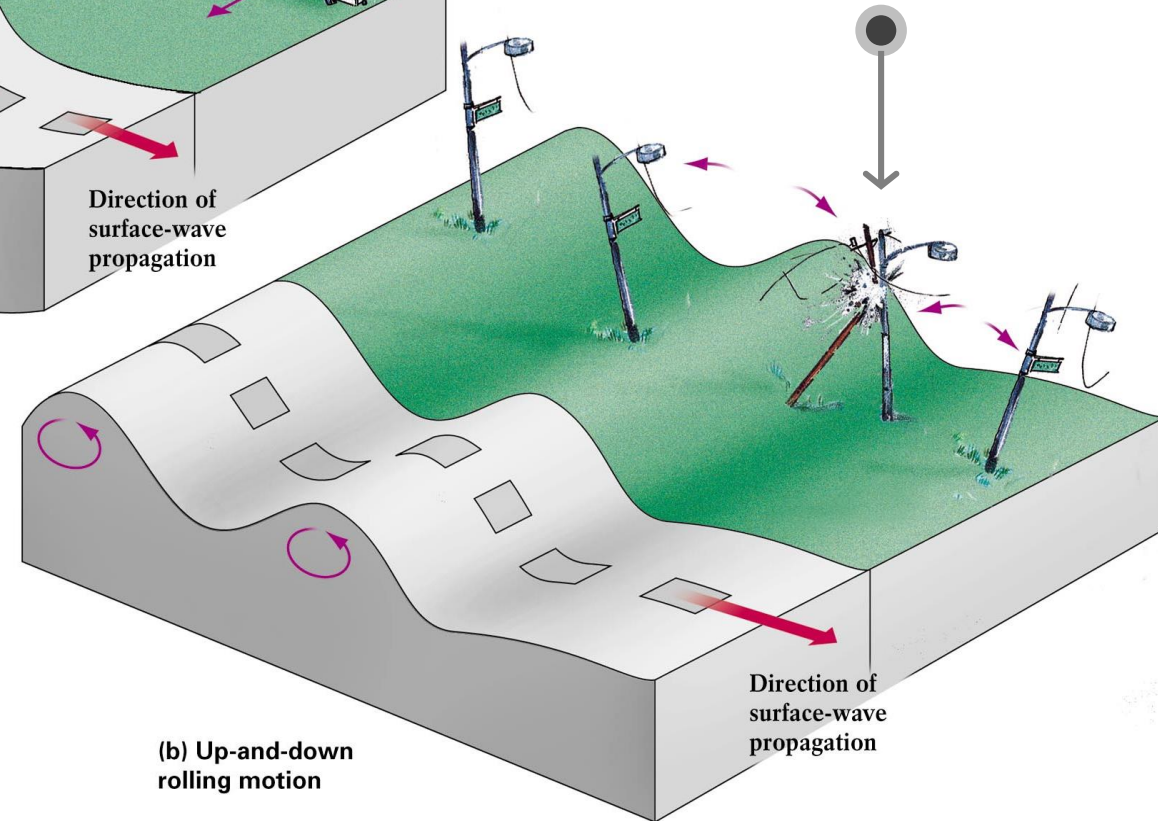
Love-waves; Menyebabkan gerakan geser (horizontal) mirip dengan gelombang S.

1



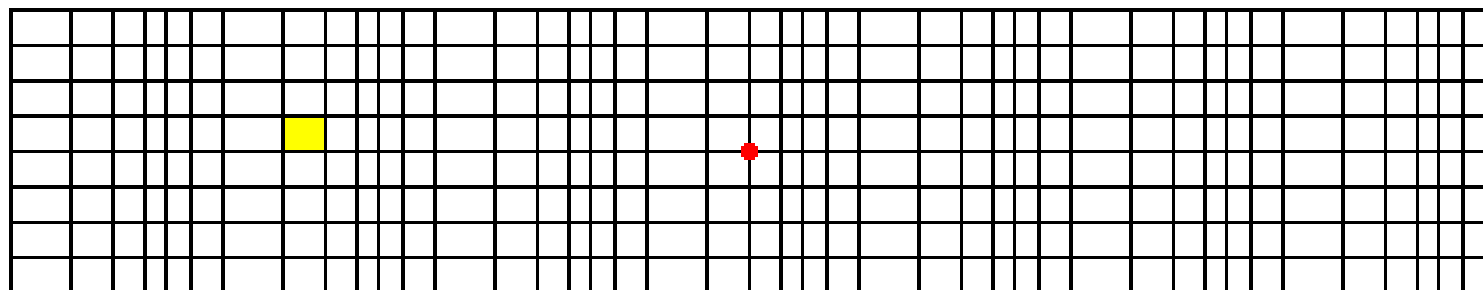
Rayleigh-waves; Menyebabkan gerakan vertikal bersama-sama dengan gerakan horizontal bolak-balik. Geraknya mirip dengan berada di atas kapal di lautan ketika gelombang melintas.

2

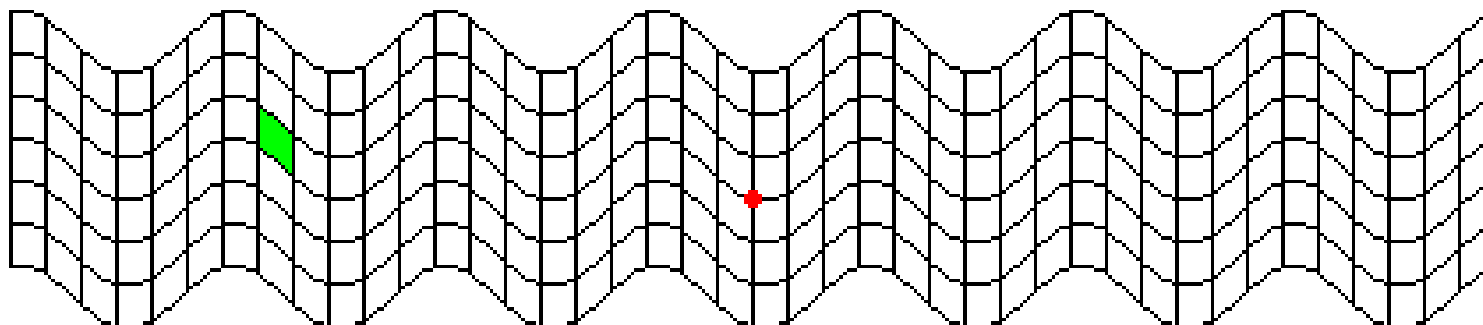


2.8 | Gerakan bumi: Akibat rambatan gelombang gempa

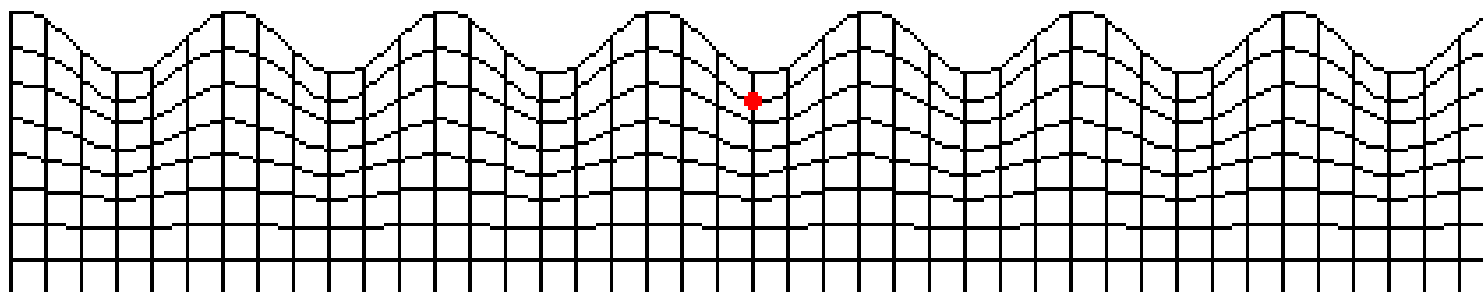
P-Wave



S-Wave

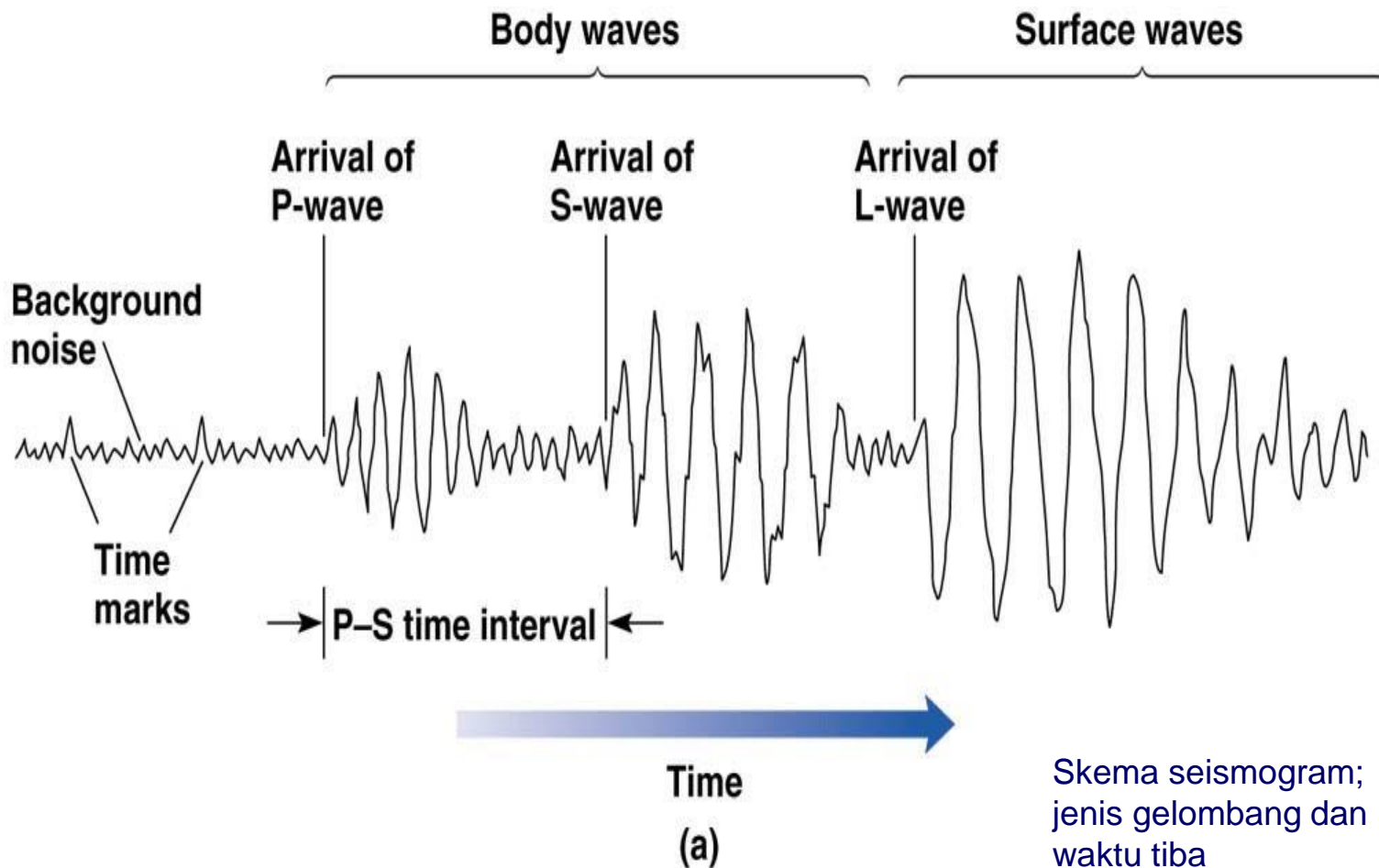


**Surface
Wave**



Animasi untuk menunjukkan
gerakan tanah akibat rambatan
gelombang gempa

2. | Locating epicenter: 9 | Dengan metode triangulasi



Skema seismogram;
jenis gelombang dan
waktu tiba

Perilaku gelombang gempa:

- 1 **Rambatan;** Gelombang P tiba lebih dulu, lalu gelombang S, lalu L dan R
- 2 Setelah gempa bumi, **perbedaan waktu kedatangan** di stasiun seismograf dapat digunakan untuk **menghitung jarak** dari **seismograf ke pusat gempa (D)**

2. Locating epicenter:

9 Dengan metode triangulasi



Jika kecepatan rata-rata untuk semua gelombang ini diketahui, gunakan rumus waktu S - P (S dikurangi P).

Metode untuk menghitung jarak (D) antara stasiun rekaman dan suatu peristiwa.

$$Time = \frac{Distance}{Velocity}$$

P wave has a velocity V_P ; S wave has a velocity V_S .
 V_S is less than V_P .

Both originate at the same place --the hypocenter.

They travel the same distance

but the S wave takes more time than the P wave.

Time for the S wave to travel a distance D: $T_S = \frac{D}{V_S}$;

Time for the P wave to travel a distance D: $T_P = \frac{D}{V_P}$.

The time difference

$$(T_S - T_P) = \frac{D}{V_S} - \frac{D}{V_P} = D \left(\frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P} \right) = D \left(\frac{V_P - V_S}{V_P V_S} \right)$$

Now solve for the Distance D:

$$D = \left(\frac{V_P V_S}{V_P - V_S} \right) (T_S - T_P)$$

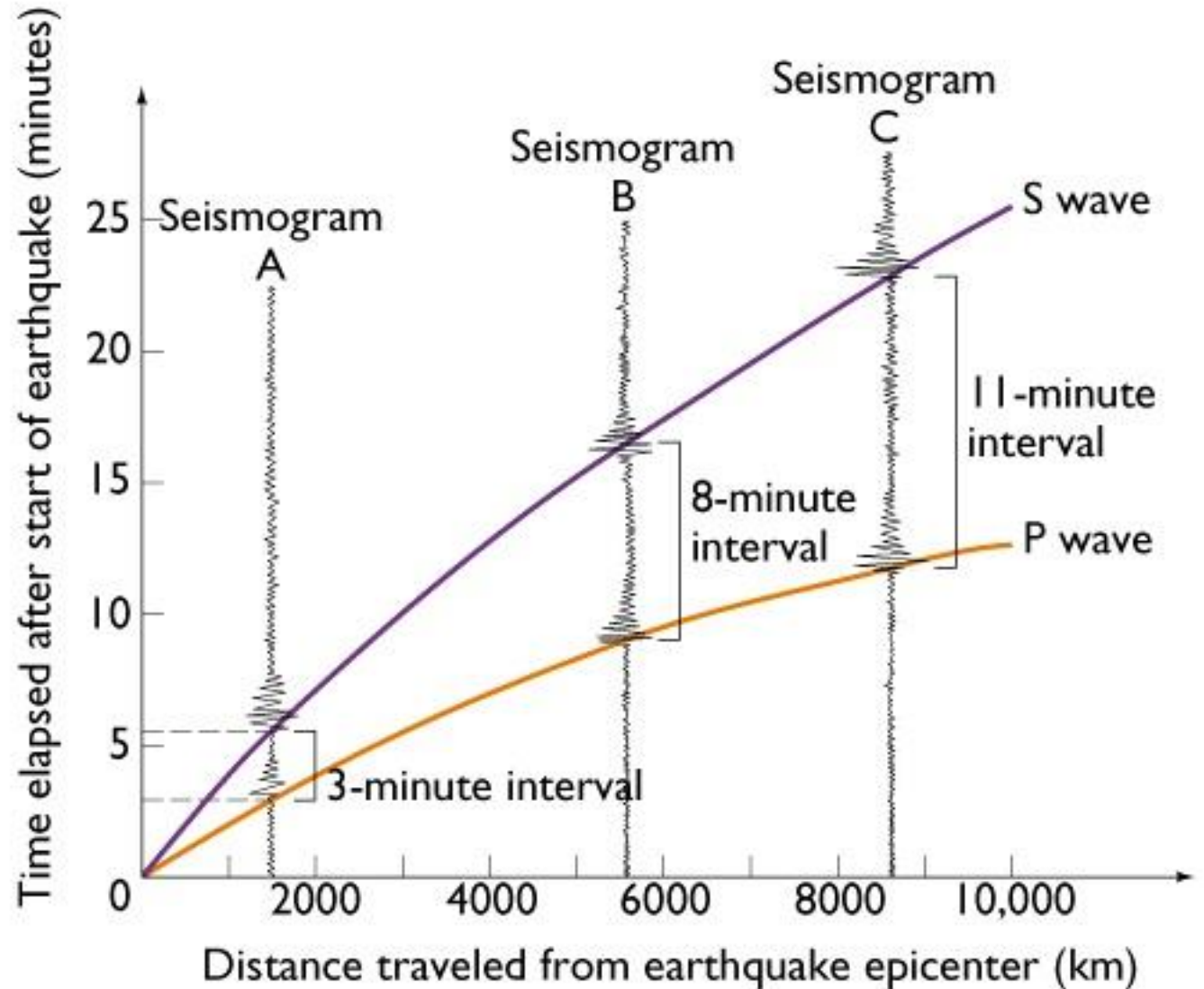
2. Locating epicenter: 9 Dengan metode triangulasi



Kurva **Travel-Time** Seismik:

Jika kecepatan gelombang seismik tidak diketahui, gunakan kurva **Travel-Time** untuk wilayah tersebut untuk mendapatkan jarak

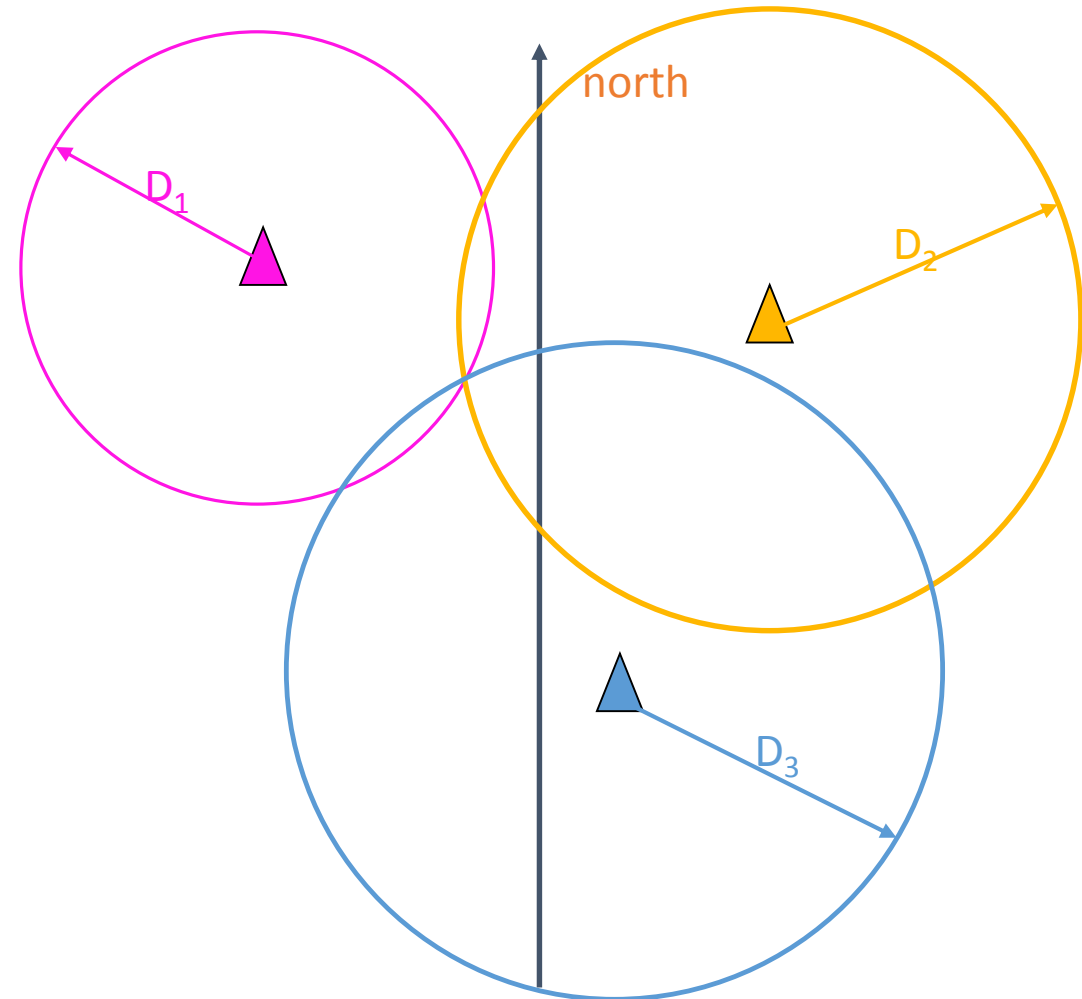
1. Ukur waktu antara gelombang P dan S pada seismogram.
2. Gunakan grafik waktu perjalanan untuk mendapatkan jarak ke pusat gempa.



2. Locating epicenter: 9 Dengan metode triangulasi

- 1) Baca waktu S-P dari 3 seismogram.
- 2) Hitung jarak untuk setiap pasangan peristiwa / stasiun rekaman (D_1 , D_2 , D_3) menggunakan rumus waktu S-P.
- 3) Gambarkan setiap lingkaran jari-jari D_i pada peta.
- 4) Titik yang tumpang tindih adalah lokasi acara.

Asumsi: Sumber relatif dangkal;
Episentrum relatif dekat dengan hiposenter.



2.1 | **Bencana / Kerusakan** 0 | akibat gempa bumi

Gempa bumi memiliki **berbagai efek**, termasuk perubahan **fitur geologis, kerusakan pada struktur buatan manusia** dan **dampak** pada **kehidupan manusia** dan lingkungan (alami/binaan).

Kerusakan akibat gempa tergantung pada banyak faktor

1. Ukuran Gempa Bumi
2. Jarak dari fokus gempa
3. Properti tanah di situs
4. Karakteristik (infra)struktur di daerah tersebut

2.1 | **Bencana / Kerusakan** 0 | akibat gempa bumi

Earthquake Hazards

- 1 Ground Shaking;** guncangan tanah.
Jika gempa bumi menghasilkan intensitas getaran yang cukup besar, struktur seperti bangunan, jembatan dan bendungan dapat rusak parah, dan tebing serta tanah yang miring menjadi tidak stabil.
- 2 Tsunami;**
gelombang panjang laut yang dihasilkan oleh perpindahan tiba-tiba air laut oleh gempa dangkal, letusan gunung berapi atau tanah longsor bawah laut..
- 3 Landslides and Rockfalls;** tanah longsor dan guguran batuan.
gempa bumi merusak kestabilan tebing dan lereng curam, menyebabkan tanah longsor dan bebatuan gugur sebagai efek samping yang signifikan. Hujan deras dan batuan yang tidak terkonsolidasi atau retak merupakan faktor yang memperburuk.

2.1 | **Bencana / Kerusakan** 0 | akibat gempa bumi

Earthquake Hazards

- 4 Subsidence and Lateral Spreading;** penurunan dan penyebaran lateral tanah. perpindahan vertikal ke bawah p**Liquefaction** pada satu sisi lempeng tanah.
- 5 Liquefaction;** Likuefaksi
Pencairan terjadi ketika sedimen yang tergenang air diaduk oleh getaran seismik. Ini memisahkan butiran dari satu sama lain, mengurangi kapasitas dukung bebannya. Bangunan dan struktur lainnya dapat tenggelam ke tanah atau miring, sementara pipa dan tangki bawah tanah dapat naik ke permukaan.
- 5 Fire;** Akibat tidak langsung dari gempa bumi yang dipicu oleh terputusnya pipa gas dan saluran listrik.

2.1 | **Ground shaking**

0 | Guncangan tanah

Frekuensi guncangan berbeda untuk gelombang seismik yang berbeda.

Body waves frekuensi tinggi lebih banyak mengguncang bangunan tingkat rendah.

Gelombang permukaan frekuensi rendah lebih banyak mengguncang bangunan tinggi.

Intensitas getaran juga tergantung pada jenis tanah di bawah permukaan.

Tanah yang tidak terkonsolidasi memperkuat getaran (**efek amplifikasi**).

Bangunan menanggapi guncangan secara berbeda tergantung pada system struktur dan property bahan konstruksi



2.1 | **Ground shaking**

0 | Guncangan tanah



Gempa Palu, 2018

2.1 | **Ground shaking** 0 | Guncangan tanah



Gempa Canterbury:

4 September 2010 Mw
= 7.1

Gambar dari jalur
kereta api yang
terdistorsi

2.1 | **Ground shaking** 0 | Guncangan tanah



**Gempa
Canterbury:**
4 September 2010 Mw
= 7.1

Gambar dari jalur
kereta api yang
terdistorsi

2.1 | Landslide 0 | dan rockfall

Tanah longsor terjadi ketika slope (atau sebagiannya) mengalami beberapa proses yang mengubah kondisinya dari stabil menjadi tidak stabil.

Ini pada dasarnya disebabkan oleh penurunan kekuatan geser material lereng, peningkatan tegangan geser yang ditanggung oleh material, atau kombinasi keduanya.

Perubahan stabilitas lereng dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, bekerja bersama atau sendiri.

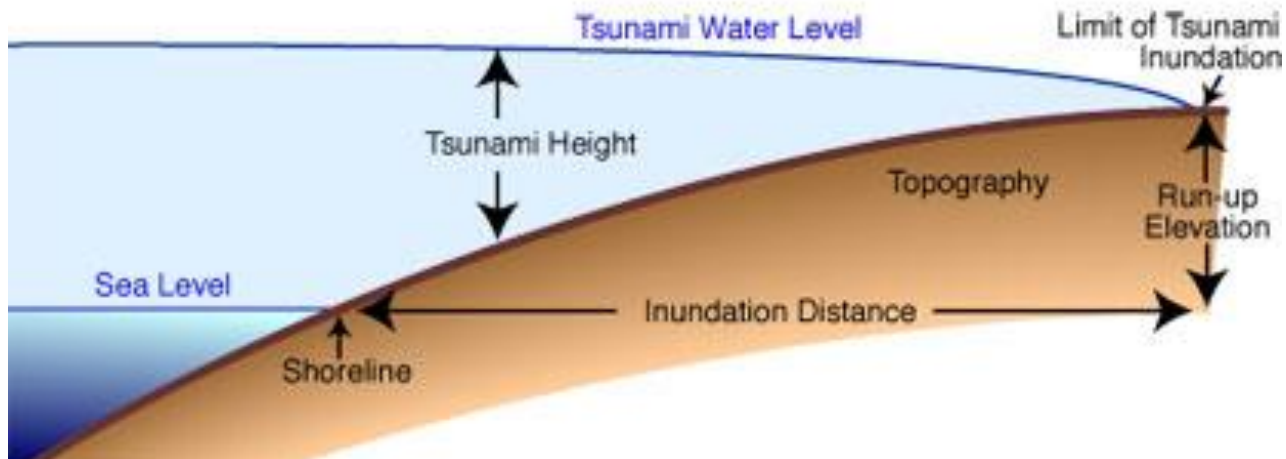
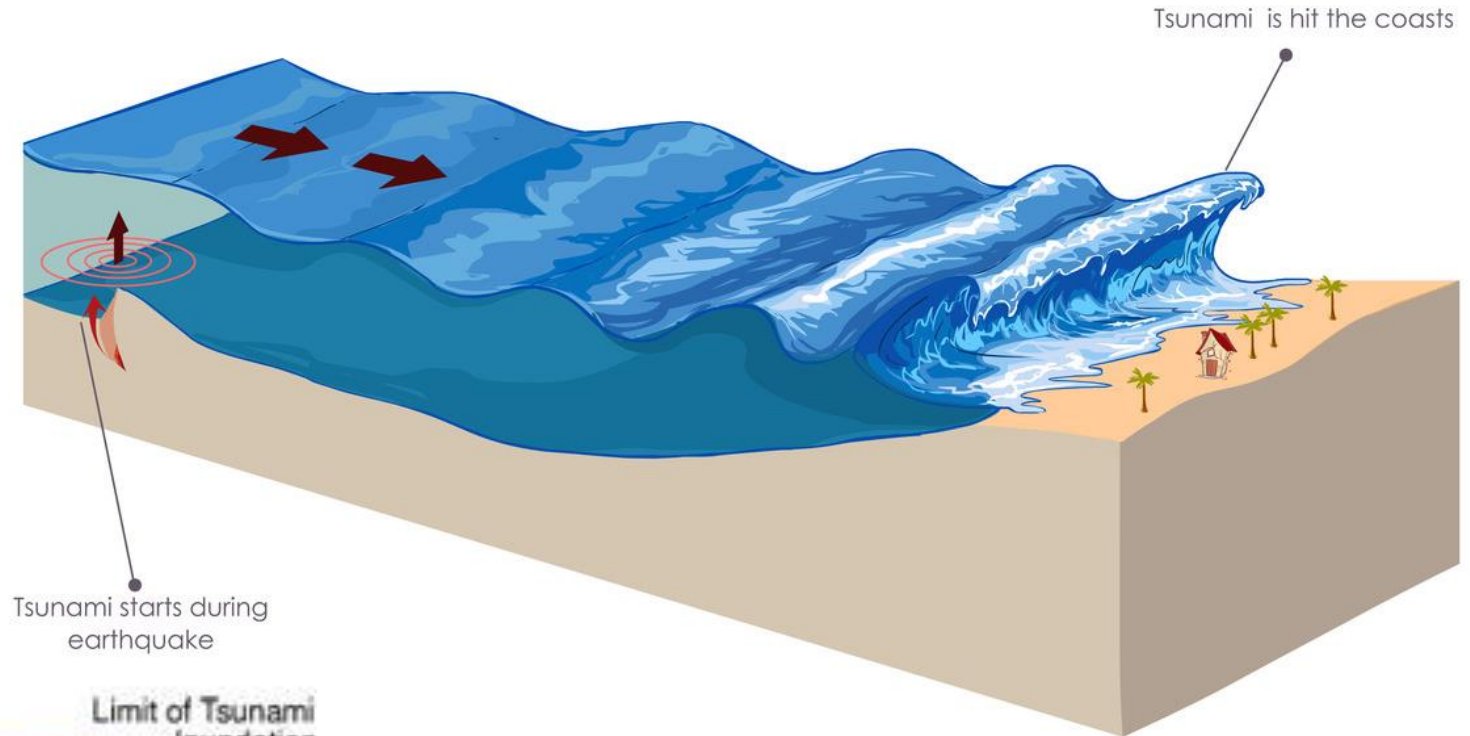


2.1 Tsunami

dan seiche (terjadi di danau/reservoir)

Tsunami dapat dipicu oleh gangguan pada dasar laut yang menyebabkan perpindahan sejumlah besar air.

Dalam proses kembalinya air yang terganggu ini menuju ekuilibrium atau keadaan tenang, suatu gelombang dapat terbentuk dan menyebar meninggalkan pusat gangguan, sehingga menyebabkan tsunami



2.1 | **Liquefaction (likuefaksi)** 0 | Pecairan tanah akibat hilangnya daya dukung

Pencairan tanah adalah fenomena di mana kekuatan dan kekakuan suatu tanah berkurang/hilang oleh guncangan gempa bumi atau pembebanan dengan cepat lainnya.

Gempa Niigata, 1964

Kegagalan tanah yang luar biasa terjadi di dekat tepi sungai Shinano di mana gedung apartemen Kawagishi-cho mengalami kegagalan daya dukung dan miring berat (kiri). Terlepas dari kemiringan yang ekstrem, bangunan itu sendiri hanya mengalami sedikit kerusakan struktural.



2.1 | **Liquefaction (likuefaksi)** 0 | Pecairan tanah akibat hilangnya daya dukung

Gempa Canterbury 2011

Pencairan yang disebabkan oleh gempa bumi Canterbury menciptakan lubang besar di jalan-jalan di sekitar kota Christchurch.

Mobil ini jatuh ke lubang dekat Shortland Street di pinggiran Aranui setelah gempa 22 Februari 2011.



2.1 | **Fire**

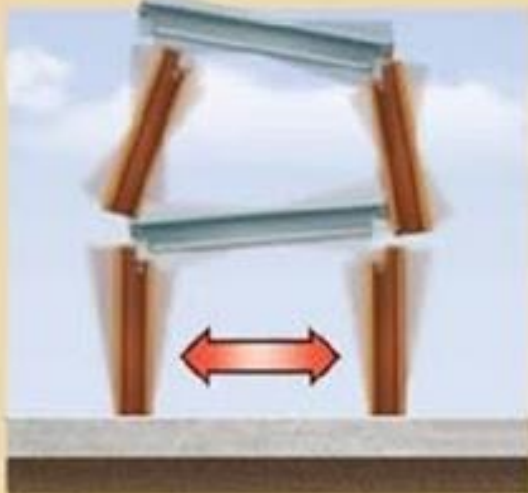
0 | Akibat tidak langsung pada lifelines



Broken gas tanks erupt in fountains of flame after the 2011 Tohoku, Japan, earthquake.

2.1 | Lesson learned for engineers: 1 | **Soft story mechanism**

Before



After



(a) During a 1999 earthquake in Turkey, concrete buildings collapsed when supports gave way, and floors piled on each other like pancakes.



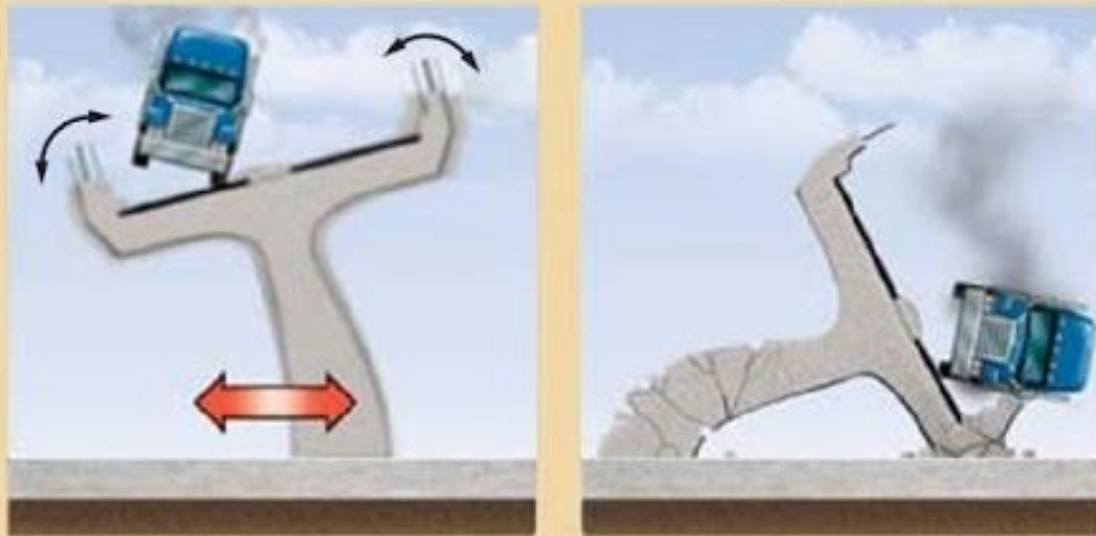
2.1 | Lesson learned for engineers: 1 | **Soft story mechanism**



2.1 | Lesson learned for engineers: 1 | **Soft story mechanism**



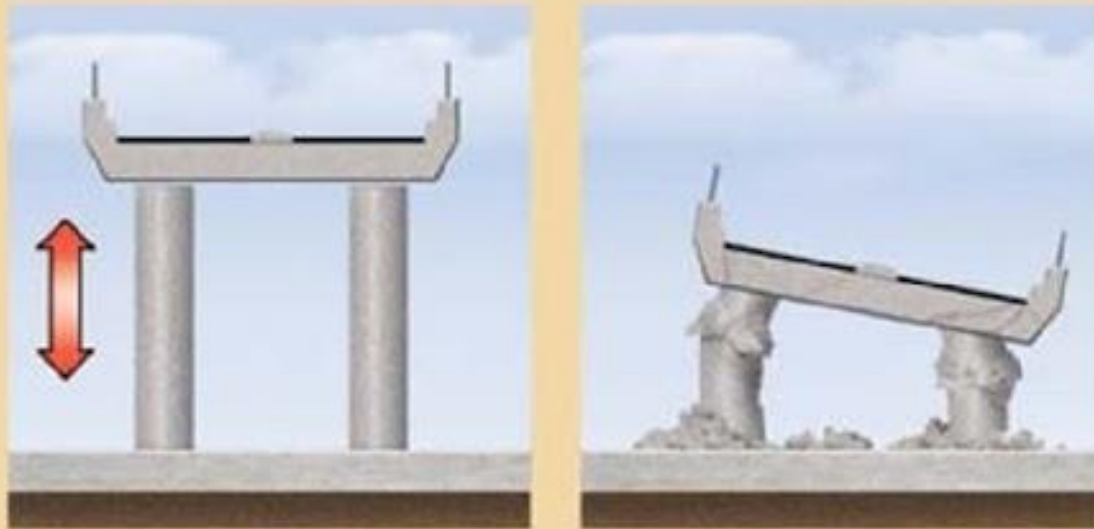
2.1 | Lesson learned for engineers: 1 | **Bending failure**



(b) An elevated bridge tipped over during the 1995 Kobe, Japan, earthquake.



2.1 Lesson learned for engineers: 1 **minim kekangan** (tulangan sengkang)



(c) Concrete bridge supports were crushed during the 1994 Northridge earthquake when the overlying bridge bounced up and slammed back down.



2.1 | Lesson learned for engineers: 1 | **Unreinforced masonry**



(d) A neighborhood of masonry buildings in Armenia collapsed during a 1999 earthquake because the walls broke apart.



2.1 | Course **wrap-up**? 2

Apakah tujuan kita tercapai?

Refleksikan pertanyaan-pertanyaan berikut:

Dapatkah anda menjelaskan kembali dengan kalimat anda sendiri **urutan kejadian bencana gempa** itu?

Dapatkah anda menjelaskan kembali **gelombang gempa, karakteristik, dan perambatannya**?

Apasajakah bencana gempa? Dan apa pelajaran penting yang anda peroleh dari pengamatan bencana gempa?.

Apakah anda cukup percaya diri menjawab pertanyaan-pertanyaan diatas? Apakah anda senang dengan hasil belajar anda?
Bacalah lebih lanjut berbagai sumber pengetahuan tentang kegempaan.

1.0 | **Terima kasih**